

УДК 621.577.6: 338.001.36

**АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА И ЭЛЕКТРОКОТЛА  
В УСЛОВИЯХ ТЕКСТИЛЬНОГО И ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY  
OF AIR HEAT PUMPS AND ELECTRIC BOILERS  
IN TEXTILE AND CLOTHING PRODUCTION**

*Р.М. АЛОЯН, В.Н. ФЕДОСЕЕВ, А.Б. ПЕТРУХИН, И.А. ЗАЙЦЕВА, В.А. ВОРОНОВ, В.А. ЕМЕЛИН*  
*R.M. ALOYAN, V.N. FEDOSEEV, A.B. PETRUKHIN, I.A. ZAITSEVA, V.A. VORONOV, V.A. EMELIN*

(Ивановский государственный политехнический университет)  
(Ivanovo State Polytechnical University)  
E-mail: voronovv@my.com

*Проведен сравнительный анализ эффективности двух различных теплоснабжающих систем: теплового насоса и электрического котла. Показано, что тепловые насосы не только значительно энергоэффективнее электрических котлов, но и позволяют потребителю экономить значительную часть его денежных средств.*

*A comparative analysis of the effectiveness of two different heat supply systems, heat pump and electric boiler. It is shown that heat pumps are much more energy efficient electric boiler, saving the consumer a significant portion of its cash flows.*

**Ключевые слова:** тепловые насосы, электрические котлы, система теплоснабжения, автономное теплоснабжение.

**Keywords:** heat pumps, electric heaters, heating system, independent heating.

Удельная энергоемкость российского ВВП в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в несколько раз превышает показатели развитых стран. Внутри страны этот разрыв отчасти компенсируют низкие цены на топливо. Но не следует забывать,

что, во-первых, запасы ископаемого топлива не возобновляются, во-вторых, именно при их сгорании в атмосферу попадает около 60% всех парниковых газов, оксиды азота, диоксид серы, твердые частицы и

тяжелые металлы, негативно влияющие на окружающую среду и здоровье людей [1].

Таким образом, вопросы энергоэффективности и энергосбережения для России являются очень актуальными.

Минэкономразвития РФ прогнозирует значительное повышение потребления электроэнергии с 2013 по 2030 г. в сред-

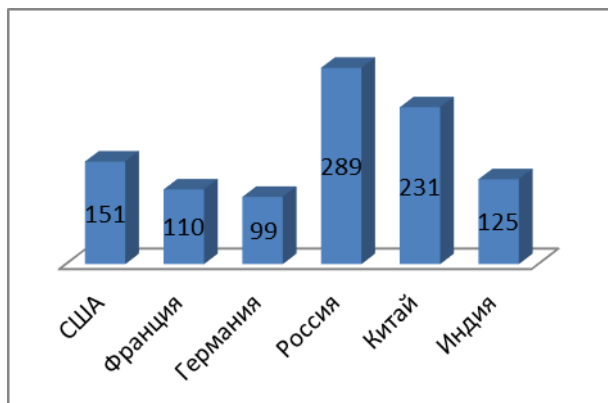


Рис. 1

ИПЕМ – российский независимый научно-исследовательский центр провел анализ роста потребления электроэнергии. По расчетам ИПЕМ прогноз роста потребления электроэнергии в Генсхеме энергетики завышен в 2 раза, и электропотребление в России в 2020 году не превысит 1350 млрд. кВт·ч – рис. 2 [4].

В данной статье мы сравниваем и анализируем возможность эксплуатации тепловых насосов типа "воздух-воздух" с возможностями электрического котла. Тепловой насос – эффективное энергосберегающее оборудование, использующее экологически чистые возобновляемые источники энергии (солнечная энергия, аккумулированная в грунте, водоемах, воздухе, а также тепло вторичных энергетических ресурсов). Области применения тепловых насосов разнообразны – отопление, горячее водоснабжение и круглогодичное кондиционирование жилых домов, объектов общественного значения (больницы, школы), офисных зданий, производственных корпусов и т. д. В качестве исходных данных для

нем на 8%, а тепловой энергии – на 12 % (рис. 1 – потребление электроэнергии для производства 1 млрд. дол. ВВП, тыс. тонн нефтяного эквивалента на 2014 г., и рис. 2 – прогноз роста потребления электроэнергии в России до 2020 года), что окажет негативное влияние на финансовые показатели предприятий.

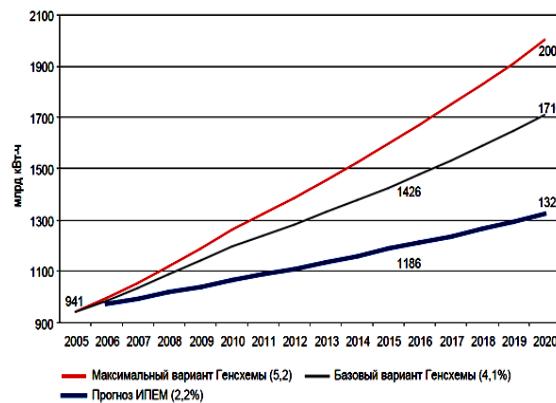


Рис. 2

расчетов принимаем центральный регион России, где основная часть года относительно холодная (отопительный период составляет 5...6 месяцев), для обеспечения нормативных условий эксплуатации небольшого текстильного цеха площадью 120 м<sup>2</sup>. По предварительным расчетам согласно актуализированной версии СНиПа 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование" СП 60.13330.2012 источник теплоснабжения должен обеспечить 16 кВт тепловой энергии.

Проанализируем основные преимущества и недостатки рассматриваемых источников теплоснабжения указанного текстильного цеха, приведенные в табл. 1, а также рассмотрим технические параметры теплоснабжающего оборудования (табл. 2).

Для сравнения необходимо определить эксплуатационные и капитальные затраты на приобретение рассматриваемых систем теплоснабжения зданий. Капитальные затраты при приобретении теплоснабжающего оборудования в расчете на цены 2015 г. приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 1

Источник теплоснабжения	Преимущества	Недостатки
Тепловой насос типа "воздух-воздух"	Использует возобновляемые источники энергии Невысокие эксплуатационные затраты Экологичность Низкая пожароопасность Простота монтажа Отсутствие необходимости в подключении каких-либо инженерных коммуникаций Обеспечивает нужды отопления, вентиляции и ГВС	Высокие капитальные вложения Необходимость использовать ТЭН или рекуператор при очень низких температурах воздуха Максимальный порог температуры нагрева теплоносителя составляет 55...60°C
Электрический котел	Низкие затраты при капитальных вложениях Простота монтажа	Высокие эксплуатационные затраты Прямая зависимость от качества подключения к электрической сети Невысокий срок службы

Т а б л и ц а 2

Параметры	Тепловой насос	Электродкотел
Мощность, кВт	14	15
Напряжение, В	380	380
Потребляемая электрическая мощность, кВт	3,05	15
Срок службы, лет	30	7
КПД, %	300...400	95...98
Рабочая температура теплоносителя, °С	55...60	95

Т а б л и ц а 3

Оборудование	Статья затрат	Описание	Цена, руб.
Тепловой насос	Основное оборудование	Тепловой насос, буферная емкость	399880,0
	Дополнительное оборудование	Краны шаровые, радиаторы, арматура, термометры, манометры и т.д.	55871,14
	Монтаж оборудования	Установка оборудования, арматуры, прокладка трубопроводов и пусконаладочные работы	34736,79
	Транспортировка оборудования		5784,0
<i>Итого</i>			496271,93
Электродкотел	Основное оборудование	Электродкотел, насосы, расширительный бак	44595,72
	Дополнительное оборудование	Краны шаровые, радиаторы, арматура, термометры, манометры и т.д.	58913,55
	Монтаж оборудования	Установка оборудования, арматуры, прокладка трубопроводов и пусконаладочные работы	37142,56
	Транспортировка оборудования		6023,0
<i>Итого</i>			146674,0

Согласно табл. 3 можно сделать вывод, что капитальные вложения на монтаж,

транспортировку и дополнительное оборудование примерно сопоставимы по стои-

мости для рассматриваемых систем теплоснабжения, однако стоимость основного оборудования для теплового насоса значительно превосходит стоимость электродкотла. В частности, это связано с тем, что рассматриваемый нами насос изготавливается в Японии, что значительно повышает его стоимость. При использовании российских импортозамещающих аналогов эту

разницу можно будет сократить, а также повысить качество данного оборудования. Кроме того, разница в капитальных затратах теплового насоса будет нивелирована в ходе эксплуатации теплового насоса.

В табл. 4 приведены эксплуатационные затраты для теплоснабжающих систем теплового насоса, а в табл. 5 – электродкотла – в расчете на цены 2015 года.

Т а б л и ц а 4

Месяц	Время работы, ч	Тариф эл. энергии, руб. за 1 кВт	Потребляемая мощность, кВт/ч	Стоимость теплоснабжения, руб.
Январь	340,2	4	3,05	4150,44
Февраль	322	4	3,05	3928,4
Март	229,3	4	3,05	2797,46
Апрель	147,8	4	3,05	1803,16
Май	39,9	4	3,05	486,78
Июнь	24,8	4	3,05	302,56
Июль	11,9	4	3,05	145,18
Август	13,6	4	3,05	165,92
Сентябрь	58,6	4	3,05	714,92
Октябрь	201,8	4	3,05	2461,96
Ноябрь	366,4	4	3,05	4470,08
Декабрь	301,9	4	3,05	3683,18
Итого, год	1958	4	3,05	23887,6

Т а б л и ц а 5

Месяц	Время работы, ч	Тариф эл. энергии, руб. за 1 кВт	Потребляемая мощность, кВт/ч	Стоимость теплоснабжения, руб.
Январь	340,2	4	15	20412
Февраль	322	4	15	19320
Март	229,3	4	15	13758
Апрель	147,8	4	15	8868
Май	39,9	4	15	2394
Июнь	24,8	4	15	1488
Июль	11,9	4	15	714
Август	13,6	4	15	816
Сентябрь	58,6	4	15	3516
Октябрь	201,8	4	15	12108
Ноябрь	366,4	4	15	21984
Декабрь	301,9	4	15	18114
Итого	1958	4	15	117480

Шаг расчета эксплуатационных затрат для табл. 4 и 5 выбран исходя из того, что для каждого месяца затраты могут значительно различаться. Динамика изменения эксплуатационных затрат теплоснабжающего оборудования, зависящая от измене-

ния климатических условий в рассматриваемом регионе, заложена в данном расчете.

Исходя из данных табл. 4 и 5, можно сделать вывод, что эксплуатационные затраты электрического котла гораздо выше затрат теплового насоса.

Определим критерии для оценки эффективности.

Чистым доходом (другие названия – ЧД, Net Value, NV) называется накопленный эффект (сальдо денежного потока) за расчетный период:

$$\text{ЧД} = \sum_m \phi_m. \quad (1)$$

В нашем случае это значение заключается в разнице стоимости эксплуатации теплового насоса в сравнении с электрическим котлом за расчетный период протяженностью в 1 календарный год.

Также необходимо определить значение ставки дисконтирования, учитывающей риск для реализации проекта. Приобретение теплового насоса в качестве системы теплоснабжения частного дома относится к низкой категории риска. Учитывая ставку рефинансирования 10,5%, темп инфляции на уровне 7,5%, получим следующее значение ставки дисконтирования:

$$D = \frac{1 + \frac{r}{100}}{1 + \frac{i}{100}} + \frac{p}{100} = 18 \%. \quad (2)$$

Чистый дисконтированный доход ЧДД (ЧДД, интегральный эффект, Net Present Value, NPV). От значения этого критерия зависит величина денежных средств, кото-

рую инвестор сможет получить от приобретения теплового насоса в сравнении с электрическим котлом, после того, как денежные притоки окупят его первоначальные инвестиционные затраты и периодические денежные оттоки, связанные с осуществлением проекта:

$$\text{ЧДД} = \sum_m = \phi_m a_m (E). \quad (3)$$

ЧД и ЧДД характеризуют превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного проекта соответственно без учета и с учетом неравноценности эффектов (а также затрат, результатов), относящихся к различным моментам времени. Разность ЧД – ЧДД нередко называют дисконтом проекта. Для признания проекта эффективным с точки зрения инвестора необходимо, чтобы ЧДД проекта был положительным; при сравнении альтернативных проектов предпочтение должно отдаваться проекту с большим значением ЧДД (при выполнении условия его положительности).

Расчетным периодом был выбран временной промежуток продолжительностью в 15 лет, с шагом в 1 год.

В табл. 6 показано определение значения ЧДД для теплового насоса.

Таблица 6

Год	Затраты электрокотла, руб.	Затраты ТН, руб.	ЧД ТН, руб.	E, %	ЧДД ТН, руб.
1	117480	23887,6	93592,4	18	110439
2	117480	23887,6	93592,4	18	110439
3	117480	23887,6	93592,4	18	110439
4	117480	23887,6	93592,4	18	110439
5	117480	23887,6	93592,4	18	110439
6	117480	23887,6	93592,4	18	110439
7	117480	23887,6	93592,4	18	110439
8	150505,72*	23887,6	126618,1	18	149409,4
9	117480	23887,6	93592,4	18	110439
10	117480	23887,6	93592,4	18	110439
11	117480	23887,6	93592,4	18	110439
12	117480	23887,6	93592,4	18	110439
13	117480	23887,6	93592,4	18	110439
14	117480	23887,6	93592,4	18	110439
15	117480	23887,6	93592,4	18	110439

Примечание. \* – Значительный рост затрат в течение данного года обусловлен заменой электрического котла, превысившего нормативный срок службы в 7 лет.

Ежегодные затраты учитывают также амортизационные издержки и рост тарифов на электроэнергию, являющуюся источником энергии для рассматриваемых систем теплоснабжения.

Внутренняя норма доходности (другие названия – ВНД, внутренняя норма дисконта, внутренняя норма рентабельности, Internal Rate of Return, IRR).

В более общем случае внутренней нормой доходности называется такое положительное число  $E_v$ , что при норме дисконта  $E = E_v$  чистый дисконтированный доход проекта обращается в 0. Для оценки эффективности ИП значение ВНД необходимо сопоставлять с нормой дисконта  $E$ . Инвестиционные проекты, у которых  $ВНД > E$ , имеют положительный ЧДД и поэтому эффективны. Проекты, у которых  $ВНД < E$ , имеют отрицательный ЧДД и потому неэффективны.

$$ВНД = \sum_{t=0}^n \frac{ЧД_t}{(1 + ЧДД)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1 + ЧДД)^t}. \quad (4)$$

Сроком окупаемости ("простым" сроком окупаемости, payback period) называется продолжительность периода от начального момента до момента окупаемости. Начальный момент указывается в задании на проектирование (обычно это начало нулевого шага или начало операционной деятельности). Моментом окупаемости называется тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый доход ЧД(к) становится и в дальнейшем остается неотрицательным. При оценке эффективности

срок окупаемости, как правило, выступает только в качестве ограничения:

$$PP = \frac{K_o}{ЧД_{ср}}. \quad (5)$$

Сроком окупаемости с учетом дисконтирования называется продолжительность периода от начального момента до "момента окупаемости с учетом дисконтирования":

$$PP_d = \frac{K_o}{ЧДД_{ср}}. \quad (6)$$

Индексы доходности характеризуют (относительную) "отдачу проекта" на вложенные в него средства. Они могут рассчитываться как для дисконтированных ИДД, так и для не дисконтированных денежных потоков ИД.

При расчете ИД и ИДД могут учитываться либо все капиталовложения за расчетный период, включая вложения в замещение выбывающих основных фондов, либо только первоначальные капиталовложения, осуществляемые до ввода предприятия в эксплуатацию (соответствующие показатели будут, конечно, иметь различные значения) [9].

$$ИДД = \frac{ЧДД_{общ}}{I}. \quad (7)$$

В табл. 7 представлены основные экономические показатели оценки эффективности системы теплоснабжения с тепловым насосом.

Т а б л и ц а 7

Система теплоснабжения	ВНД, %	PP, лет	PP <sub>d</sub> , лет	ИД*	ИДД*
Тепловой насос	56	5,06	4,29	2,96	3,49

П р и м е ч а н и е. \* – Индекс доходности инвестиций, а также индекс доходности дисконтированных инвестиций в данном расчете являются относительными величинами. Они не имеют собственной размерности, однако отражают актуальность такого инвестиционного проекта, как система теплоснабжения, включающая тепловой насос, относительно аналогичной системы с электрическим котлом.

Основные показатели экономической эффективности инвестиционного проекта по установке теплового насоса типа "воздух-воздух" в сравнении с электрическим

котлом по результатам расчета (табл. 7) эффективности участия составляют:

1) чистый дисконтированный доход, рассчитываемый путем умножения чисто-

го дохода на коэффициент дисконтирования, 1734526 руб. за весь срок реализации проекта, что характеризует проект с положительной стороны;

2) внутренняя норма дохода, показывающая уровень доходности всех инвестиций при условии полного покрытия всех расходов за счет доходов, равен 56,13 %, что при норме дохода, равной 18 %, свидетельствует об эффективности вложения денежных средств;

3) срок окупаемости – 5,06 года; срок окупаемости характеризует переломный момент времени, когда ЧДД проекта становится положительным, а для уточнения положения момента окупаемости рассчитывается дополнительный показатель путем деления отрицательного ЧДД по мо-

дулю на сумму ЧДД отрицательного по модулю и ЧДД положительного. Данный проект, согласно проведенным расчетам, окупится за 5,06 лет;

4) индекс доходности (ИДД), характеризующий относительную отдачу на вложенные в проект затраты, рассчитывается путем деления суммы ЧДД на вложенные инвестиции и равен 3,49, что намного превосходит минимальную границу показателя (проект считается эффективным, если ИДД > 1).

В табл. 8 представлен сравнительный анализ энергоэффективности воздушного теплового насоса и электродкотла в условиях автономного текстильного и швейного производства.

Т а б л и ц а 8

Система теплоснабжения	Капитальные вложения, тыс. руб.	Эксплуатационные вложения за 1 год, тыс. руб.	Внутренняя норма доходности, %	Дисконтированный срок окупаемости, лет
Тепловой насос	496271,93	23887,6	56,13	4,29
Электродкотел	146674,0	117480	-56,13*	..**

Пр и м е ч а н и е. \* – Показатель ВНД электродкотла обратно пропорционален значению ВНД теплового насоса, \*\* – дисконтированный срок окупаемости для системы теплоснабжения, включающей электрический котел, в данном расчете не поддается исчислению.

## В Ы В О Д Ы

Таким образом, результаты проведенных расчетов показали, что использование тепловых насосов в качестве системы теплоснабжения рассматриваемого объекта можно признать более экономически целесообразным, чем использование электрического котла. Данное экономическое сравнение является наглядным показателем всей прибыли, получаемой при использовании энергоэффективного оборудования.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Совет при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Москва: 2000. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
2. Захарова Л. Пора сматывать провода // Российская бизнес-газета. – 2012, №878 (49). С. 7...9.
3. Синькова М.М., Сунгатуллин Р.Р., Чудаева А.А. Оценка экономической целесообразности инвестиций в мероприятия по повышению энергоэф-

фективности предприятия (на примере ОАО ПКК "Весна") // Сб. науч. тр.: Молодежный научный форум: Общественные и экономические науки – М.: Изд. "МЦНО". – 2014, № 4 (11). С. 164...174.

4. Саакян Ю., Порохова Н. Прогнозирование в электроэнергетике и новые факторы роста спроса на электроэнергию // Академия энергетики. – 2007, №6. С. 12...16.

5. Млынчик В.И., Ерастров А.Е., Вишневская И.А. Методика определения потенциала энергосбережения и перечня типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности // СРО НП "ТРИ-Э". – 2011.

6. Синадский В. Расчет ставки дисконтирования // Финансовый директор. – 2003, № 4. С.22...24.

7. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Новикова А.П. Реализация потенциала Ивановской области на рынке текстильной и легкой промышленности за счет формирования инфраструктурной базы текстильно-промышленного кластера // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №4. С.11...17.

8. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Опыт практической реализации укрепления связей науки ИВГПУ с производством в условиях развития инфраструктурной базы текстильно-промышленного кластера региона // Изв.